

PCT

WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM  
Internationales Büro



INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>6</sup> :

H02K 15/12, 1/04

A2

(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 97/07585

(43) Internationales  
Veröffentlichungsdatum:

27. Februar 1997 (27.02.97)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE96/01489

(22) Internationales Anmeldedatum: 8. August 1996 (08.08.96)

(30) Prioritätsdaten:

195 30 672.4

21. August 1995 (21.08.95)

DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): SIEMENS  
AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2,  
D-80333 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): MÜLLER, Rainer [DE/DE];  
Linneper Weg 18, D-40885 Ratingen (DE). SCHULTEN,  
Michael [DE/DE]; Heissener Strasse 16-18, D-45468  
Mülheim (DE).

(81) Bestimmungsstaaten: CN, CZ, HU, JP, KR, RU, UA, US,  
europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR,  
GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

Veröffentlicht

Ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu  
veröffentlichen nach Erhalt des Berichts.

(54) Title: STATOR FOR AN ELECTRIC MACHINE AND IMPREGNATING AND INSULATING PROCESS FOR THE STATOR OF  
AN ELECTRIC MACHINE

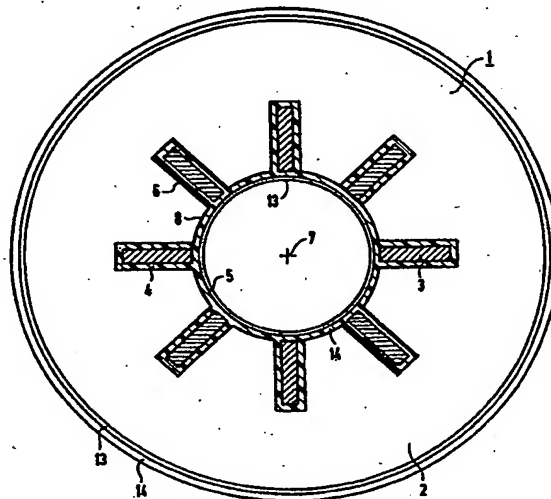
(54) Bezeichnung: STATOR FÜR EINE ELEKTRISCHE MASCHINE SOWIE VERFAHREN ZUR IMPRÄGNIERUNG UND  
ISOLIERUNG DES STATORS EINER ELEKTRISCHEN MASCHINE

(57) Abstract

A stator (1) for an electric machine (15), in particular a turbo-generator, has an insulating layer (13) made of a powder coating (5). Also disclosed is a process for impregnating and insulating the stator (1) of an electric machine (15) by totally impregnating the stator (1) with an impregnating resin (4), then coating it with a powder coating (5) at a temperature from 20 °C to 70 °C. The thus obtained insulating layer (13) achieves with a single coating application a resistance to heat and tracking currents higher than that achieved by wet coating. The powder coating (5) preferably contains an epoxy resin based on bisphenol-A. Since the powder coating (5) contains no solvents and is used up to 99 %, the insulating layer (13) is produced in a particularly environmentally friendly manner.

(57) Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft einen Stator (1) einer elektrischen Maschine (15), insbesondere für einen Turbogenerator, mit einer Isolationsschicht (13) aus einem Pulverlack (5). Weiterhin betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Imprägnierung und Isolierung eines Stators (1) einer elektrischen Maschine (15), wobei der Stator (1) in einer Ganztränkung mit einem Tränkharz (4) imprägniert und anschließend bei einer Temperatur von 20 °C bis 70 °C mit einem Pulverlack (5) beschichtet wird. Die so hergestellte Isolationsschicht (13) erreicht schon bei einem einzigen Lackierungsvorgang eine höhere Wärmebeständigkeit und eine höhere Kriechstromfestigkeit als dies bei Naßlackierungen der Fall wäre. Der Pulverlack (5) weist bevorzugt ein Epoxidharz auf Basis von Bisphenol-A auf. Die Herstellung der Isolationsschicht (13) erfolgt aufgrund der Lösungsmittelfreiheit des Pulverlackes (5) sowie einer Ausnutzung von bis zu 99 % des Pulverlackes (5) besonders umweltverträglich.



### LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AM	Armenien	GB	Vereinigtes Königreich	MX	Mexiko
AT	Österreich	GE	Georgien	NE	Niger
AU	Australien	GN	Guinea	NL	Niederlande
BB	Barbados	GR	Griechenland	NO	Norwegen
BE	Belgien	HU	Ungarn	NZ	Neuseeland
BF	Burkina Faso	IE	Irland	PL	Polen
BG	Bulgarien	IT	Italien	PT	Portugal
BJ	Benin	JP	Japan	RO	Rumänien
BR	Brasilien	KE	Kenya	RU	Russische Föderation
BY	Belarus	KG	Kirgisistan	SD	Sudan
CA	Kanada	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	SE	Schweden
CF	Zentrale Afrikanische Republik	KR	Republik Korea	SG	Singapur
CG	Kongo	KZ	Kasachstan	SI	Slowenien
CH	Schweiz	LI	Liechtenstein	SK	Slowakei
CI	Côte d'Ivoire	LK	Sri Lanka	SN	Senegal
CM	Kamerun	LR	Liberia	SZ	Swasiland
CN	China	LX	Litauen	TD	Tschad
CS	Tschechoslowakei	LU	Luxemburg	TG	Togo
CZ	Tschechische Republik	LV	Lettland	TJ	Tadschikistan
DE	Deutschland	MC	Monaco	TT	Trinidad und Tobago
DK	Dänemark	MD	Republik Moldau	UA	Ukraine
EE	Estland	MG	Madagaskar	UG	Uganda
ES	Spanien	ML	Mali	US	Vereinigte Staaten von Amerika
FI	Finnland	MN	Mongolei	UZ	Usbekistan
FR	Frankreich	MR	Mauretanien	VN	Vietnam
GA	Gabon	MW	Malawi		

## Beschreibung

Stator für eine elektrische Maschine sowie Verfahren zur Imprägnierung und Isolierung des Stators einer elektrischen Maschine

Die Erfindung bezieht sich auf einen Stator, welcher eine Isolationsschicht aufweist, für eine elektrische Maschine, insbesondere für einen Turbogenerator. Weiterhin bezieht sich die Erfindung auf ein Verfahren zur Imprägnierung und Isolierung des Stators einer elektrischen Maschine, insbesondere einer Großmaschine mit einer elektrischen Leistungsaufnahme oder -abgabe von mehr als 20 MVA, vorzugsweise mehr als 50 MVA.

Der Stator einer elektrischen Großmaschine weist üblicherweise einen ferromagnetischen und elektrisch leitfähigen Trägerkörper sowie elektrische Leiter auf, die als Wicklungselemente um den Trägerkörper gewickelt sind. Die Leiter haben zumindest einen elektrisch gut leitfähigen Metalldraht oder Metallstab, insbesondere eine Vielzahl derartiger Metallstäbe, und sind von einer Isolierhülse umgeben, die von einer elektrisch halbleitfähigen Schutzschicht umhüllt ist. Die Isolierhülse eines Wicklungselementes besteht üblicherweise aus einem mit einem Füllstoff zu imprägnierenden oder imprägnierten, glimmerenthaltenden Material. Der Füllstoff ist ein Kunstharz, vorzugsweise ein heißhärtendes Epoxydharz-System, z.B. ein heißhärtendes Gemisch aus einem Epoxydharz und einem Säure-Anhydrit. Wicklungselemente können Wicklungsstäbe mit stabförmigen Grundkörpern, insbesondere etwa geraden Grundkörpern mit gebogenen Enden, sowie Formspulen mit Grundkörpern aus aufgewickelten Drähten sein. Wicklungsstäbe finden üblicherweise Anwendung in dynamoelektrischen Maschinen sehr hoher Leistung, z.B. in Turbogeneratoren. Formspulen werden bevorzugt in dynamoelektrischen Maschinen kleiner Leistung eingesetzt.

Zur Herstellung einer Komponente mit Wicklungselementen für eine dynamoelektrische Großmaschine wird unter anderem das sogenannte Ganztränkverfahren angewandt. Hierbei erhalten die Wicklungselemente ihre Füllstoff-Imprägnierung erst nach Einbau in den entsprechenden Trägerkörper. Mit dem Ganztränkverfahren ist eine präzise Formgebung der Wicklungselemente durch Pressen oder dergleichen weitgehend überflüssig. Die die Wicklungselemente enthaltenden Nuten werden in dem Trägerkörper im wesentlichen vollständig mit dem Füllstoff ausgefüllt, so daß die Wicklungselemente ohne weitere Verkeilungsmaßnahmen weitestgehend unverrückbar in den Nuten des Trägerkörpers fixiert sind. Durch das Ganztränkverfahren erhält die Komponente aus Trägerkörper und Wicklungselementen eine vereinheitlichte Oberfläche.

Weitere Ausführungen zur Anwendung des Ganztränkverfahrens bei der Herstellung von Komponenten für eine dynamoelektrische Großmaschine sind der WO 91/01059 A1 und der EP 0 379 012 A2 entnehmbar. Diese Dokumente beschreiben die Herstellung von Anordnungen aus ferromagnetischen und elektrisch leitfähigen Trägerkörpern und Wicklungsstäben, die dem Ganztränkverfahren in der oben beschriebenen Weise unterzogen werden. Weiterhin sind der DE 36 36 008 A1 sowie der US-PS 3,990,029 Hinweise zum Ganztränkverfahren bei der Herstellung von Komponenten für dynamoelektrische Maschinen entnehmbar, wobei diese Dokumente allerdings Anordnungen mit Wicklungsstäben betreffen, deren Isolierhülsen beim Einbau in den Trägerkörper bereits fertig imprägniert sind.

In der GB-PS 910,297 ist ein Verfahren zur Herstellung eines aus Harz bestehenden Schutzüberzuges für elektrische Drähte beschrieben, bei dem diese Drähte mittels des Harzes zu einer festen Einheit verbunden werden. Anwendungsfälle sind hierbei die Drahtwicklungen für Läufer und Stator einer elektrischen Maschine. Zur Beschichtung wird ein Epoxyd-Pulverharz verwendet, bei dessen Auftrag die elektrischen Drahtwicklung selbst als Widerstandsheizung verwendet werden. Alternativ erfolgt

eine Aushärtung des Pulverharzes durch eine Beheizung in einem Aushärteofen, wobei eine Anlagerung des Pulverharzes in einem Temperaturbereich zwischen 120° und 230° erfolgt und eine Aushärtung in einem Temperaturbereich zwischen 150° und 175° durchgeführt wird. Die Beschichtung der Drahtwicklungen mit Pulverharz wird gegenüber einem Eintunken in flüssigem Harz bevorzugt, da dieses Eintunken aus verschiedenen Gründen nachteilig sei.

10 In der DE 35 28 492 A1 ist ein Verfahren zum Aufbringen einer Schutzschicht auf elektrische Bauteile, die Drahtwicklungen aufweisen, beschrieben. Insbesondere sind solche Bauteile Anker und Statoren elektrischer Maschinen geringer elektrischer Leistung. Die Schutzschicht besteht hierbei aus einem Epoxydharz, das als Beschichtungspulver aufgebracht wird. Die Schutzschicht aus dem Beschichtungspulver kann auf eine Flüssigharzimprägnierung aufgebracht sein und als mechanischer Schutz gegen Abrieb sowie als Schutz gegen Feuchtigkeit, und damit gegen Korrosion, dienen. Die Pulverbeschichtung hat eine Dicke zwischen 80 µm und 300 µm. Die zu beschichtenden elektrischen Bauteile werden auf eine Temperatur von zwischen 100°C und 300°C vorgewärmt, wobei die Drahtwicklungen als Widerstandsheizung betrieben werden. Die Pulverbeschichtung wird durch Aufsprühen mittels Düsen durchgeführt, wobei die Korngröße des Pulvers zu mindestens 60 % unter 125 µm liegt. Als Beschichtungspulver kommt ein Pulverlack auf Basis von Bisphenol-A-Epoxydharz in Betracht.

Aufgabe der Erfindung ist es, einen Stator für eine dynamoelektrische Großmaschine mit einer umweltverträglich, insbesondere ohne Lösungsmittel herstellbaren, Isolationsschicht anzugeben. Eine weitere Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Verfahren zur Isolation und Imprägnierung eines Stators einer elektrischen Großmaschine anzugeben.

Erfindungsgemäß wird die auf einen Stator gerichtete Aufgabe durch eine Isolationsschicht gelöst, welche aus einem ausge-

hörteten Pulverlack besteht. Der Stator hat einen hohlzylindrischen, sich entlang einer Längsachse erstreckendem Trägerkörper, welcher an dem der Längsachse zugewandten Innenring Nuten aufweist. Diese Nuten sind jeweils entlang der Längsachse gerichtet und nehmen jeweils zumindest einen, vorzugsweise zwei, elektrische Leiter auf. Der Trägerkörper kann aus aufeinander geschichteten Kreisringsegmenten, beispielsweise aus Dynamo-Bleichen, bestehen. Der Trägerkörper oder die Kreisringsegmente sind insbesondere ferromagnetisch und elektrisch leitend. Die elektrischen Leiter sind stab- oder bandförmig als Wicklungselemente ausgeführt, wobei die Leiter teilweise in dem sogenannten Wickelkopf aus dem Trägerkörper herausragen. Auch dieser Wickelkopf ist vorzugsweise mit einer Isolationsschicht aus einem Pulverlack überzogen.

Eine Isolationsschicht aus einem ausgehärteten Pulverlack zeichnet sich gegenüber einer Isolationsschicht aus einem herkömmlichen Naßlack, welcher beim Aufbringen vor Austrocknung ca. 50 % Lösungsmittel enthält und als raumtemperaturhärtender Zweikomponentenlack in einem zweifachen Lackierungsvorgang aufgetragen wird, vor allem dadurch aus, daß

- der Pulverlack keine Lösungsmittel beinhaltet,
- nahezu keine Verluste an Pulverlack auftreten,
- der nicht am Stator haftende Pulverlack auffangbar und recyclebar ist,
- eine hohe Wärmeklasse erzielt wird, beispielsweise die Wärmeklasse F oder H, d.h. eine Wärmebeständigkeit von 155 °C bzw. 180 °C,
- eine höhere Kriechstromfestigkeit erzielt wird,
- ein zweiter Lackiervorgang nicht erforderlich ist.

Auch ist durch eine Isolationsschicht mit einem Pulverlack beispielsweise im Zuge einer Reparatur eine zweite Ganztränkung möglich, da die Isolationsschicht aus Pulverlack gegenüber dem beim Ganztränkverfahren verwendeten Tränkharz resistent ist. Bei einem Naßlack hingegen besteht die Gefahr, daß

sich dieser in dem Tränkharz auflöst. Die Isolationsschicht bewirkt eine Homogenisierung der Oberfläche, einen Korrosionsschutz, eine Erhöhung der Kriechstromfestigkeit sowie eine Verbesserung der Glimmbeständigkeit.

5

Die Isolationsschicht weist vorzugsweise Glimmer auf, wodurch die Isolationsfähigkeit erhöht und gezielt eingestellt werden kann. Der Glimmer kann beispielsweise in Pulverform dem Pulverlack zugemischt werden. Der Glimmer kann gegebenenfalls  
10 auch als Spaltglimmer, d.h. in feinblättriger Form, während des Beschichtungsvorgangs aufgebracht werden.

15

Die Isolationsschicht weist vorzugsweise ein Epoxydharz, insbesondere auf Basis von Bisphenol-A, auf. Ein Pulverlack mit einem solchen Epoxydharz hat den Vorteil, daß er bei niedriger Einbrenntemperatur von ca. 140 °C voll ausgehärtet werden kann. Als Härter kommen hierzu, wie beispielsweise in dem Artikel "Epoxydharz-Pulverlacke mit niedriger Einbrenntemperatur" von H.F. Lauterbach in der Fachbroschüre Oberflächen-  
20 technik, Ausgabe 1983, "Das elektrostatische Pulverbeschichten in Entwicklung und Anwendung", Herausgeber F. Ebert, Technik + Kommunikationsverlags GmbH, Berlin, beschrieben, phenolischen ("NT") Härter in Betracht. Mit solchen Pulverlacken ist gemäß dem Artikel eine sehr gute mechanische und  
25 chemische Eigenschaften erreichbar, welche durch Erhöhung der Vernetzungsdichte sowohl auf der Harz- als auch auf der Härterseite gezielt verändert werden können.

30

Vorzugsweise ist der Stator am Innenumfang des Trägerkörpers, im Wickelkopfbereich der aus dem Trägerkörper herausragenden  
35 Leiter und/oder am Außenumfang vollständig mit der Isolationsschicht überzogen, so daß eine geschlossene Oberfläche zur Erzielung eines hohen Korrosionsschutzes, einer hohen Kriechstromfestigkeit sowie einer hohen Glimmbeständigkeit erreicht ist. Dies ist insbesondere im Wickelkopfbereich vorteilhaft. Durch einen vollständigen Überzug mit der Isolationsschicht

können selbst Verschmutzungen, z.B. durch Schmieröl, leicht entfernt werden.

Die Isolationsschicht ist vorzugsweise auf einer Imprägnierungsschicht, die einen Tränkharz enthält aufgebracht. Dies ist insbesondere bei einem Stator eines Turbogenerators von Vorteil, welcher im Rahmen des Ganztränkungsverfahrens mit einem Tränkharz, beispielsweise einem Epoxydharz, imprägniert wurde. Durch das Tränkharz sind die Nuten vollständig ausgefüllt, so daß an dem Innumfang des Trägerkörpers eine weitgehend glatte Oberfläche aus der Imprägnierungsschicht gebildet ist. Die elektrischen Leiter oder Paare elektrischer Leiter sind mit einem Glimmer enthaltenden Band umwickelt, welches mit dem Tränkharz getränkt ist. Die Leiter ragen in einem Wickelkopfbereich aus dem Trägerkörper heraus und sind dort zumindest bereichsweise beabstandet, so daß sie jeweils einzeln von der Isolationsschicht umgeben sind.

Die Isolationsschicht hat vorzugsweise eine Schichtdicke von 40 µm bis 200 µm. Hierdurch wird ein wirksamer Korrosionsschutz erreicht und eine hohe Kriechstromfestigkeit erzielt. An der Komponente wird hierdurch auch eine weitgehend homogene Oberfläche erreicht.

Die auf ein Verfahren zur Imprägnierung und Isolation einer Komponente einer elektrischen Maschine gerichtete Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß der Stator mit einem hohlzylindrischen, sich entlang einer Längsachse erstreckenden Trägerkörper in einer Ganztränkung mit einem Tränkharz imprägniert und anschließend bei einer Temperatur von 20 °C bis 70 °C mit einem Pulverlack beschichtet wird. Der Trägerkörper weist an dem der Längsachse zugewandten Innumfang Nuten auf, die radial nach außen vertieft und entlang der Längsachse gerichtet sind, wobei jede Nut zumindest einen elektrischen Leiter aufnimmt. Die Ganztränkung kann dabei in dem sogenannten Vakuum-Druck-Imprägnierungsverfahren (VPI) erfolgen. Hierbei wird der Stator in eine Tränkanlage mit



einem geschlossenen Behälter eingeführt, in welchem Behälter das Tränkharz eingeleitet wird. Unter einem Druck von etwa 4 bar wird das Tränkharz in Vertiefungen des Stators gepreßt. Nach Aushärtung des Tränkharzes erfolgt eine Abkühlung des Stators. Vorzugsweise wird der Stator bei der Beschichtung mit dem Pulverlack auf einer Temperatur von 50 °C gehalten. Hierzu kann unmittelbar nach Durchführung des Tränkverfahrens eine Abkühlung auf 50 °C erfolgen, oder der Stator kann auf eine niedrigere Temperatur abgekühlt und zu einem späteren Zeitpunkt auf 50 °C erwärmt werden. Bei einer Temperatur von 50 °C wird gegenüber Raumtemperatur eine bessere Haftung des Pulverlackes erreicht. Vorzugsweise findet ein Pulverlack Anwendung, der bei einer Temperatur von 120 °C bis 200 °C, insbesondere 140 °C, aushärtet. Hierzu wird der Stator nach Beschichtung mit dem Pulverlack auf eine entsprechende Temperatur, beispielsweise von bis zu 140 °C, erwärmt und für eine zur Aushärtung des Pulverlackes erforderliche Dauer, beispielsweise 10 min bis 20 min, auf dieser Temperatur gehalten.

Zur Aufbringung des Pulverlackes auf die Komponente der elektrischen Maschine eignen sich das elektrostatische Pulversprühen (EPS), das elektrostatische Wirbelbadverfahren sowie eine elektrostatische Wirbelbettbeschichtung, wie sie beispielsweise in dem Buch "Fertigungsverfahren in der Gerätetechnik" von F. Grünwald, 2. Auflage, Carl Hanser Verlag München, 1985, Abschnitt 9.5.2.4, oder in dem Buch "Einführung in die Fertigungstechnik" von H.-J. Warnecke, Teubner Verlag Stuttgart, 1990, Kapitel 6, Abschnitt 6.2, beschrieben sind. Beim elektrostatischen Pulversprühen (EPS-Verfahren) wird das Pulver über sogenannte Korona-Sprühpistolen oder Tribo-Pistolen aufgebracht. In beiden Fällen kann überschüssiger, nicht an der Komponente haftender Pulverlack wieder zurückgewonnen und damit einer erneuten Verwendung zugeführt werden. Als Pulverlacke eignen sich besonders Epoxid-Harzpulver mit Aushärtungszeiten von 15 min bis 5 min bei Temperaturen von 140 °C bzw. 210 °C. Mit diesen Epoxid-Harzpulvern werden sehr

gute mechanische und chemische Schichteigenschaften erzielt. Als weitere Pulverlacke bieten sich Polyurethan-Pulverlacke, Polyester-Pulverlacke sowie Acryl-Harzpulverlacke an. Gegenüber gebräuchlichen Anstrichstoffen, wie beispielsweise Naßlacken, haben diese Pulverlacke den Vorteil, daß der Här-  
5 tungsmechanismus durch Polyaddition entsteht und dadurch umweltfreundlich ist. Eine sehr hohe Ausnutzung von bis zu 99 % ist möglich. Nach Aushärtungen und Abkühlung ist eine Einschichtlackierung vorhanden mit einer gleichmäßigen Isolati-  
10 onsschichtdicke im Bereich zwischen 40 µm und 200 µm sowie einer hohen Härte und Widerstandsfähigkeit der Isolations-  
schicht. Mit dem Pulversinterverfahren (Wirbelsintern) sind größere Schichtdicken von ca. 200 µm bis 1000 µm mit spezifischen Eigenschaften, wie hoher Korrosions- und Chemikalienbe-  
15 ständigkeit, erreichbar. Pulverlacke lassen sich zudem gefahrlos lagern, und aufgrund der hohen Ausnutzung entsteht lediglich ein geringer Entsorgungsaufwand.

Der Pulverlack hat vorzugsweise eine Pulverkorngröße von  
20 30 µm bis 100 µm. Die Pulverkorngröße ist hierbei überwiegend kleiner als 70 µm, beispielsweise haben ca. 66 % der Pulverkörner eine Pulverkorngröße über 32 µm, ca. 15 % von über 63 µm und ca. 2 % bei über 90 µm.

25 Anhand der in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiele werden das Verfahren zur Imprägnierung eines Stators einer elektrischen Großmaschine sowie die Isolationsschicht näher erläutert. Es zeigen:

30 FIG 1 in einem Längsschnitt einen Turbogenerator, teilweise in Seitenansicht und

FIG 2 einen Querschnitt durch den Stator eines Turbogenerators.

35 FIG 1 zeigt in einem Längsschnitt einen luftgekühlten Turbogenerator 15 für eine elektrische Leistung von 20 MVA bis 300 MVA. Der Turbogenerator 15 hat ein Ständergehäuse 12, in dem

auf und zwischen zwei Lagern 10 ein Generatorläufer 9 gelagert ist. Der Generatorläufer 9 ist entlang einer Längsachse 7 gerichtet und ist bezüglich dieser rotationssymmetrisch.

Der Läufer 9 wird von einem ebenfalls entlang der Hauptachse

5 7 gerichteten Stator 1 umschlossen. Der Stator 1 weist einen hohlzylindrischen Trägerkörper 17 auf, der eine Vielzahl in Richtung der Längsachse 7 hintereinander angeordnete Kreisringsegmente 2 aus ferromagnetischen und elektrisch leitfähigen Dynamoblechen hat. Der Trägerkörper 17 hat an seinem In-

10 nenumfang 8 entlang der Längsachse 7 verlaufende Nuten 6 (siehe FIG 2). In den Nuten 6 ist jeweils ein Leiterstab 3 geführt (siehe FIG 2). Die Leiterstäbe 3 sind an den den Lagern 10 zugewandten Enden des Trägerkörpers 17 zu jeweiligen Wickelköpfen 16 ausgebildet. An dem Läufer 9 ist an einem La-  
15 ger 10 eine Erregermaschine 11 angeschlossen. Der Stator 1 hat in Richtung der Längsachse 7 eine Längsausdehnung die deutlich größer als sein Durchmesser ist. Dementsprechend sind auch die Leiter 3 im wesentlichen in Längsrichtung ge-  
richtet.

20

FIG 2 zeigt in einem Querschnitt nicht maßstäblich den Stator 1 des Turbogenerators 15. Der Stator 1 ist im Querschnitt ein Kreisring 2, welcher beispielsweise ein Dynamoblech aus ferromagnetischen und elektrisch leitfähigem Material ist. An

25 dem Innumfang 8 des Stators 1 sind Nuten 6 angeordnet, die entlang der Längsachse 7 (vergleiche FIG 1) gerichtet sind. Die Nuten 6 sind radial von der Längsachse 7 hinweggerichtet in die Bleche eingeschnitten. In jeder Nut 6 ist ein Leiterstab 3 angeordnet, welcher beispielsweise aus zwei voneinander getrennten Kupferstabpaketen besteht. Mittels einer Ganztränkung des Stators 1 ist in den Nuten 6 sowie an dem Innenring 8 Tränkharz 4 ein- bzw. aufgebracht. Die Zwischenräume in den Nuten 6 zwischen dem Leiterstab 3 und dem Stator 1 sind somit vollständig mit Tränkharz 4 gefüllt. Am Innumfang 8 ist eine geschlossene glatte Oberfläche in Form einer Imprägnierungsschicht 14 aus Tränkharz ausgebildet. Auf dieser  
35 ist durch eine Beschichtung eine Isolationsschicht 13 aus

einem aus gehärteten Pulverlack 5, insbesondere einem Epoxidharz auf Basis von Bisphenol-A, aufgebracht. Durch diese den gesamten Stator 1, einschließlich Wickelkopf 16 und Außenumfang umschließende Isolationsschicht 13 wird eine glatte Oberfläche, ein hoher Korrosionsschutz, eine hohe Kriechstromfestigkeit sowie eine hohe Glimmbeständigkeit des Turbogenerators 15 erzielt. Zudem hat die Isolationsschicht 13 aus dem Pulverlack 5 eine Wärmebeständigkeit von 155 °C bis 180 °C, welche einer Wärmeklasse F bzw. H entspricht. Durch Verwendung des Pulverlackes 5 werden diese Eigenschaften schon mit einem einzigen Lackierungsvorgang erreicht; ein zweiter Lackierungsvorgang ist nicht erforderlich.

Die Erfindung zeichnet sich durch das Aufbringen einer Isolationsschicht aus einem aushärtbaren Pulverlack auf einem Stator eines Turbogenerators aus. Mit einem einzigen Lackierungsvorgang erhält der Stator eine Isolationsschicht, die gegenüber Isolationsschichten aus einem zweikomponentigen Naßlack eine deutlich verbesserte Kriechstromfestigkeit sowie eine höhere Wärmebeständigkeit gewährleistet. Zudem ist die Herstellung der Isolationsschicht aus Pulverlack sehr umweltfreundlich, da keine Lösungsmittel verwendet werden und der Pulverlack zu nahezu 99 % ausgenutzt werden kann. Besonders eignet sich die Isolationsschicht für einen Stator mit Trägerkörper und Wicklungselementen, die zusammen in einem Ganztränkverfahren imprägniert werden.

## Patentansprüche

1. Stator (1) einer elektrischen Maschine mit einem hohlzylindrischen, sich entlang einer Längsachse (7) erstreckenden Trägerkörper (17), welcher an seinem der Längsachse (7) zugewandten Innenumfang (8) Nuten (6) aufweist, die sich jeweils entlang der Längsachse (7) erstrecken und deren jede zumindest einen stab- oder bandförmigen elektrischen Leiter (3) enthält, wobei zumindest am Innenumfang (8) eine Isolationsschicht (13) aus einem ausgehärteten Pulverlack (5) vorgesehen ist.
2. Stator (1) nach Anspruch 1, bei dem die Isolationsschicht (13) einen Anteil an Glimmer aufweist.
3. Stator (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei zumindest der Trägerkörper (7) vollständig mit der Isolationsschicht (13) überzogen ist.
4. Stator (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche mit einer Imprägnierungsschicht (14) aus einem Tränkharz (4), auf welcher die Isolationsschicht (13) aufgebracht ist.
5. Stator (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem in einem Wickelkopfbereich (16) jeder elektrische Leiter (3) im wesentlichen einzeln mit der Isolationsschicht (13) überzogen ist.
6. Stator (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Isolationsschicht (13) eine Schichtdicke von 40 µm bis 200 µm aufweist.
7. Stator (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem der Pulverlack (5) ein Epoxidharz, insbesondere auf Basis von Bisphenol-A, aufweist.

8. Verfahren zur Imprägnierung und Isolation eines Stators

(1) einer elektrischen Maschine mit einem hohlzylindrischen, sich entlang einer Längsachse (7) erstreckenden Trägerkörper (17), welcher an dem der Längsachse (7) zugewandten Innenumfang (8) Nuten (6) aufweist, deren jede zumindest einen stab- oder bandförmigen elektrischen Leiter (3) enthält, wobei der Stator (1) in einer Ganztränkung mit einem Tränkharz imprägniert und anschließend bei einer Temperatur von 20 °C bis 70 °C mit einem Pulverlack (5) beschichtet wird.

10

9. Verfahren nach Anspruch 8, bei dem der Pulverlack (5) bei einer Temperatur von 120 °C bis 200 °C, insbesondere 140 °C, ausgehärtet wird.

15

10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, bei dem der Pulverlack (5) mittels elektrostatischem Pulversprühens (EPS) oder nach dem elektrostatischem Wirbelbadverfahren aufgebracht wird.

20

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10, bei dem ein Pulverlack mit einer Pulverkorngröße von 30 µm bis 100 µm, insbesondere überwiegend kleiner als 70 µm, verwendet wird.

25

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 11, bei dem ein Pulverlack (5) mit einem Epoxidharz auf Basis von Bisphenol-A verwendet wird.

1/2

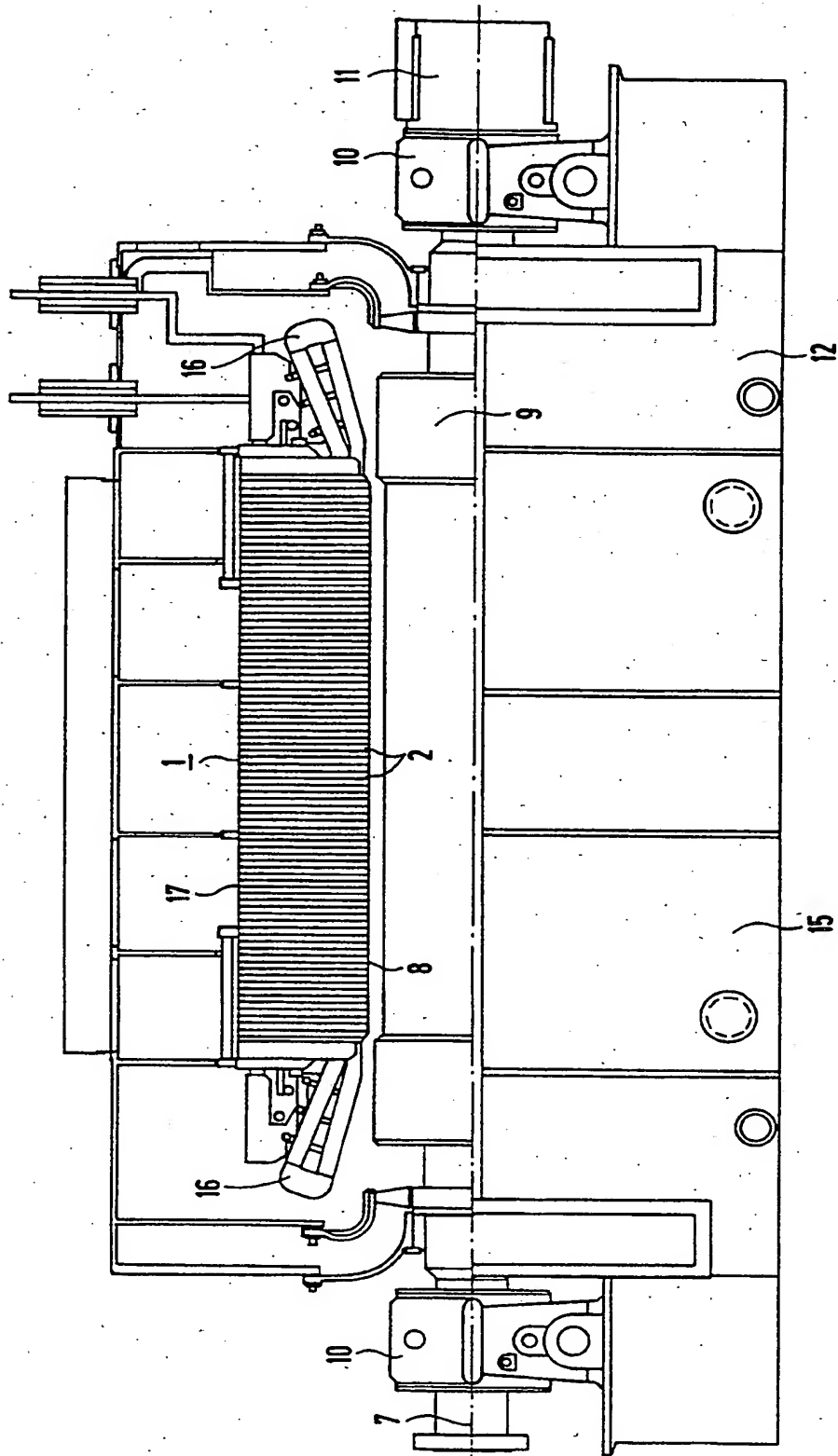


FIG 1

2/2

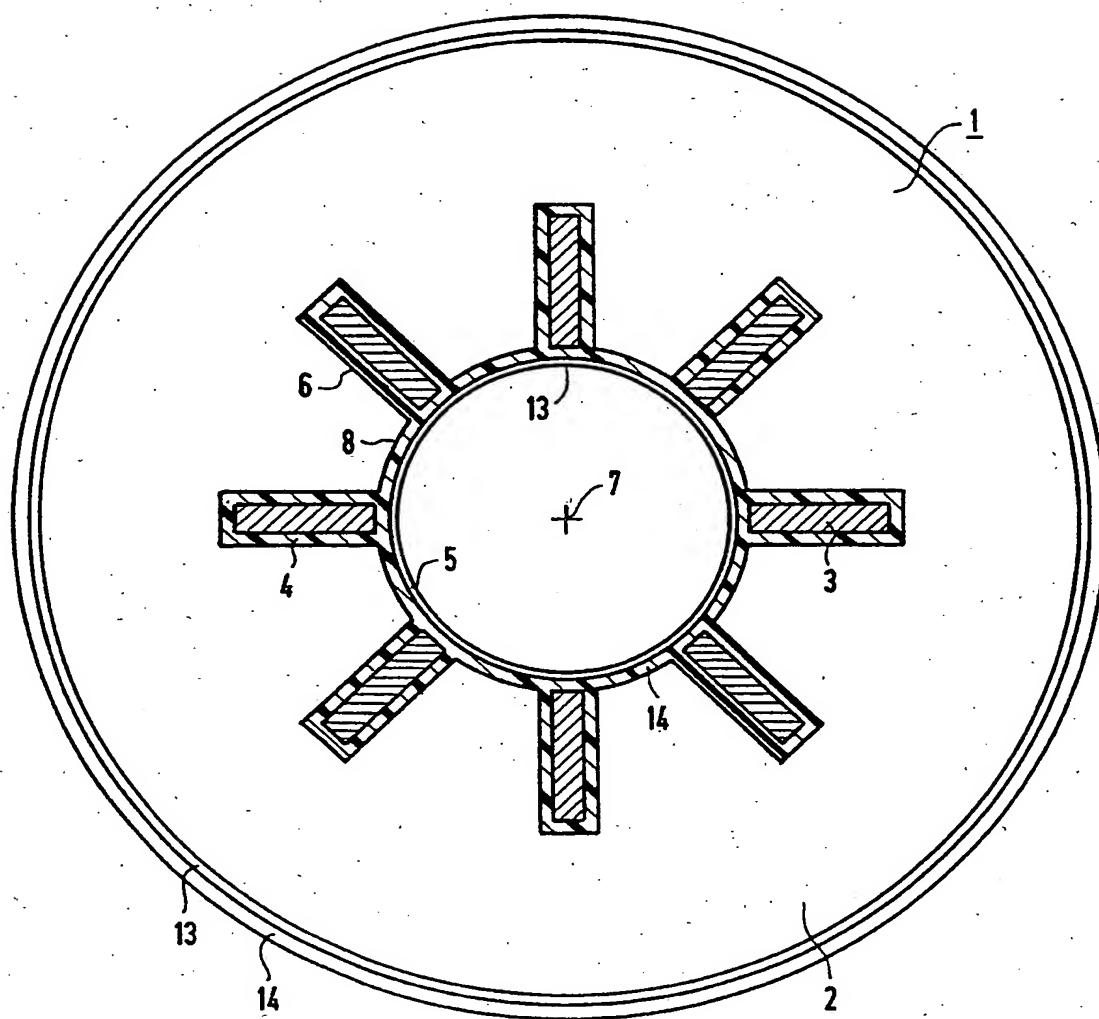


FIG 2